

Laserkeilaus

– uusi menetelmä geologiseen kartoitukseen ja tutkimukseen

KEIJO NENONEN
JOUKO VANNE
HELI LAAKSONEN

Laserkeilaustekniikka on yleistynyt maaston korkeusmallituotannossa viimeisen kymmenen vuoden aikana. Suomessa laserkeilaukseen on käytetty helikopteria ja lentokoneita sekä kehitetty aineistojen käyttösovelluksia ja aineistojen jälkikäsitteilyohjelmistoja (vrt. Hyyppä 2003, Hyyppä et al. 2009).

Laserkeilaus tuottaa maastosta tai tutkitavasta kappaleesta kolmiulotteista tietoa. Laserkeilaustekniikan kehityksen ovat mahdollistaneet lentokoneinertiajärjestelmien, GPS-järjestelmien ja itse laserkeilainten tekniikoiden kehitys. Perusidea on yksinkertainen: kohteen ja laserkeilaimen välinen etäisyys mitataan laserpulssin kulkuajan perusteella. Keilain lähettää laserpulsseja kohteeseen ja mittaa laserpulssin kulkeman ajan keilaimesta kohteeseen ja takaisin. Kun laserkeilaimen asento ja paikka tunnetaan tarkasti, mitattu etäisyys voidaan muuttaa kohteen korkeudeksi. Jokaista laserpulssia vastaava etäisyys voidaan muuntaa x-, y- ja z-koordinaateiksi paikkatiedostossa. Kustakin laserpulssista tallentuu

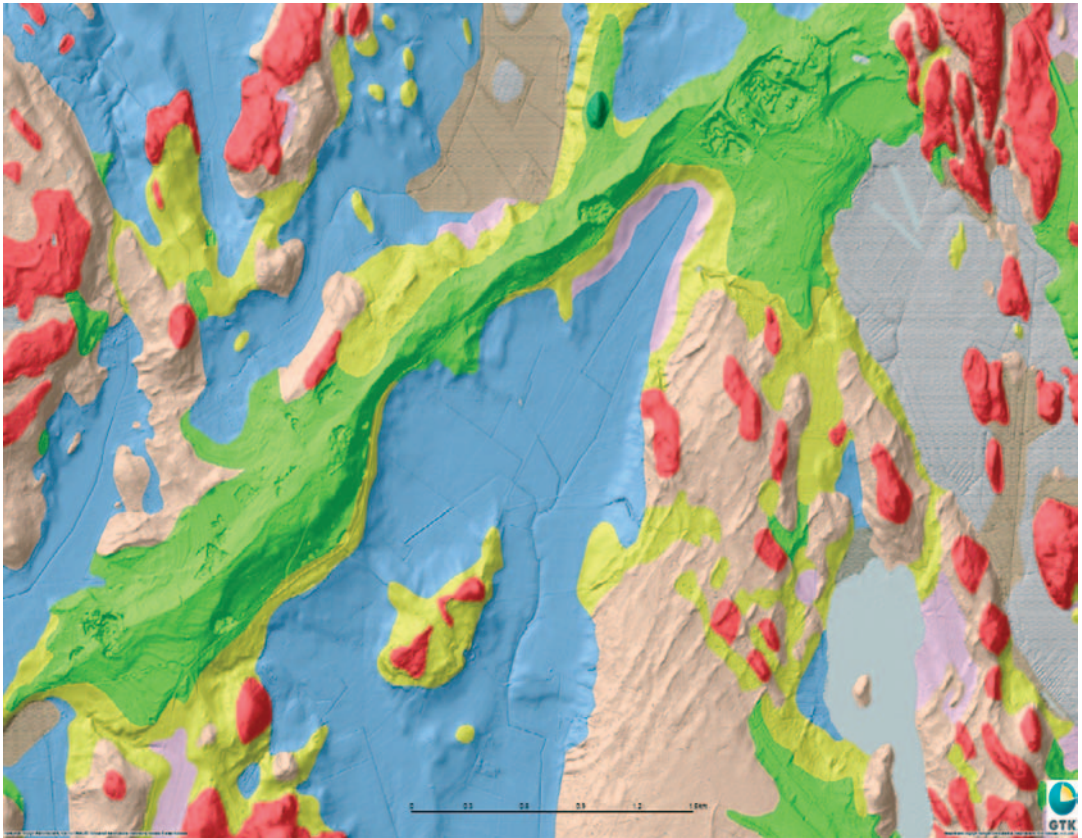
myös tieto palautuneen pulssin voimakkuudesta eli niin kutsuttu intensiteettitieto (Jensen 2007).

Maaston korkeuden lisäksi laserkeilausaineistojen avulla voidaan tarkastella ja analysoida erilaisia maanpinnan muotoja ja rakenteita (kuva 1). Laserkeilausaineistoja sekä uutta korkeusmallia voidaan hyödyntää monenlaisissa maaperää, kallioperää ja maanpintaa ja sen muutoksia tutkivissa sovelluksissa (Vanne 2008). Metsäntutkimuksessa ja metsätaloussuunnittelussa laserkeilauskella on Suomessa laaja sovelluskenttä metsien puusisällön mittauksesta metsien luokitukseen (Maltamo ja Pitkänen 2003).

Laserkeilausaineiston kattavuus laajenee

Maanmittauslaitos (MML) aloitti vuonna 2008 uuden valtakunnallisen korkeusmallituotannon laserkeilaamalla (Maanmittauslaitos 2008). Tavoitteena on tuottaa entistä tarkempaa korkeustietoa osaksi Maanmittauslaitoksen Maastotietokantaa.

Keilausaineisto mahdollistaa korkeustiedon entistä laajemmat käyttömahdollisuudet mm. erilaisissa geologisissa kartoitus- ja tutkimusprojekteissa. Tuotanto alkoi keväällä 2008



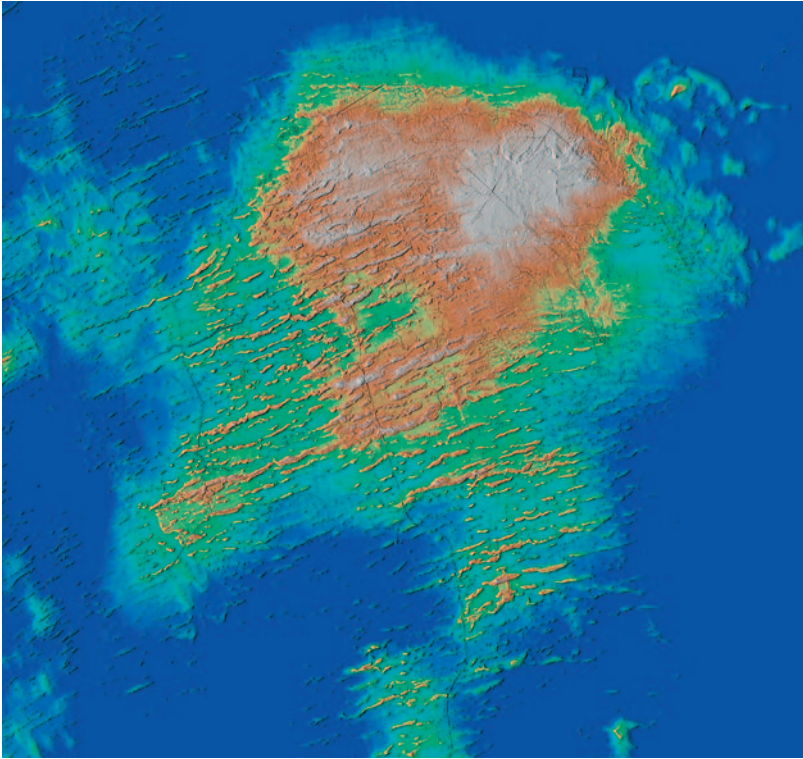
Kuva 1. Perniön seudun laserkeilausaineistoa yhdistettynä 1:20 000 maalajikuvioaineistoon (GTK). Kuvassa esitetään vihreällä III Salpausselkä Tuohitunnummen kohdalla. Ruskealla kuvatuilta moreeni-alueilta paljastuu maaperäkarttaa enemmän yksityiskohtia, mm. parvi erilaisia moreeniselänteitä. Korkeusmalli perustuu Maanmittauslaitoksen laser-aineistoon 13/MML/10. Kuvan prosessointi J.-P. Palmu, GTK.

Figure 1. Airborne laser scanning material attached with soil polygons in 1: 20 000 Quaternary geological map (GTK). III Salpausselkä end moraine in Perniö, Tuohitunnummi has been marked with green. In the brown till areas more details are revealed, e.g., a series of different kinds of moraine ridges. Height model made according to the laser scanning material of National Land Survey of Finland. Image processing by J.-P. Palmu, GTK.

pääkaupunkiseudulta, Tampereelta ja Porista. Keväällä 2009 MML laserkeilasi noin 30 000 neliökilometriä lisää lähinnä Turun, Oulun ja Kaakkois-Suomen alueella. Vuonna 2010 ohjelma jatkuu Peräpohjolassa, Lapissa ja Järvi-Suomessa.

Laserkeilauksen etuna verrattuna esim. digitaalisilta stereoilmakuvilta tehtävään kartoitukseen on sen ominaisuus tuottaa luotet-

tavaa maanpinnan korkeustietoa metsäisillä ja rehevillä alueilla puiden ja muun kasvillisuuden alta, mihin stereoilmakuvilta ei yleensä nähdä. Lentokoneesta lähetetty laserpulsssi saattaa osua matkallaan kohti maanpintaa useampaan kohteeseen, jolloin vastaanotin tallentaa keilaimeen palautuvasta laserpulsseista useamman kuin yhden pulssin paluutiedon eli paluukaiun. Vaikka suuri osa pulsseista heijas-



Kuva 2. De Geer -moreenien kuvioittamaa maastoa Merenkurkun saariston maailmanperintöalueella Mustasaarella, Länsi-Suomessa. Kuvan ala on 9,0–8,6 km. MML:n maanpintaluokitellusta laserkeilauspistepilvestä prosessoitu havainnekuva (J. Vanne). Korkeusmalli perustuu Maanmittauslaitoksen laseraineistoon 13/MML/10.

Figure 2. De Geer moraine field in the Karken archipelago World Natural Heritage Site at Mustasaari, Western Finland Terrain model processed from airborne laser scanning measured 3D point cloud (J. Vanne). Area of the image is 9,0 x 8,6 km Elevation model made according to the laser scanning material of National Land Survey of Finland 13/MML/10.

tuu suoraan lehivistä ja puustosta, osa tunkeutuu maahan asti lehvästössä olevien aukkojen kautta. Laserkeilaus onkin erityisen tehokas juuri peitteisten alueiden maastomallin tuottamiseen.

Paras keilausajankohta korkeusmallituotannon kannalta on silti varhainen kevät tai myöhäinen syksy, jolloin puiden lehdet haittaavat vähiten pulssin tunkeutumista maan pintaan eikä maanpinnan aluskasvillisuus tuo aineistoon mahdollista virhelähdettä (MMM 2009). Koska menetelmä perustuu laserpulsisiin, eivät maanpinnan valaistusolosuhteet

taikka pienet vaihtelut sääoloissa haittaa keilausta.

Keilaamalla saatua laserpulssien joukkoa kutsutaan pistepilveksi. Pistepilvi kiinnitetään haluttuun koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään. Pistepilvelle tehdään erilaisia automaattisia ja visuaalisia tarkastuksia sekä luokituksia. Maanmittauslaitoksen tuotantoprosessissa pistepilvestä etsitään maanpintaa edustavat laserpulssien osumat ensin automaattisella maanpintaluokittelulla. Automaattisen maanpintaluokittelun tarkastuksessa käytetään avuksi Maanmittauslaitoksen ilmakuvia sekä

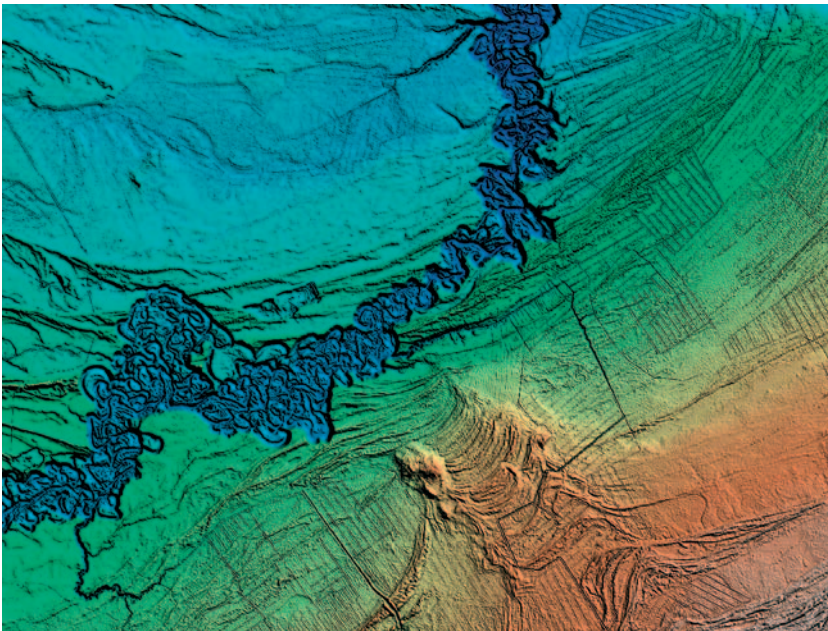
Maastotietokannan kartoitus- ja korkeusmittaustietoja (Maanmittauslaitos 2008). Geologisen tulkinnan kannalta tämä on aineiston käsittelyn tärkein vaihe.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistojen pistetiheys eli pulssiosumien määrä maastossa on noin yksi piste kahdelle neliömetrille. Laserpulssin jalanjälki maastossa on läpimitaltaan noin 50 cm. Laserpisteistä lasketta- van korkeusmallin tarkkuusvaatimus on 30 senttimetriä, ja uuden korkeusmallin resoluutio on kaksi metriä.

Keilausaineisto Merenkurkun maailmanperintöalueen moreeni- muodostumien luokittelussa

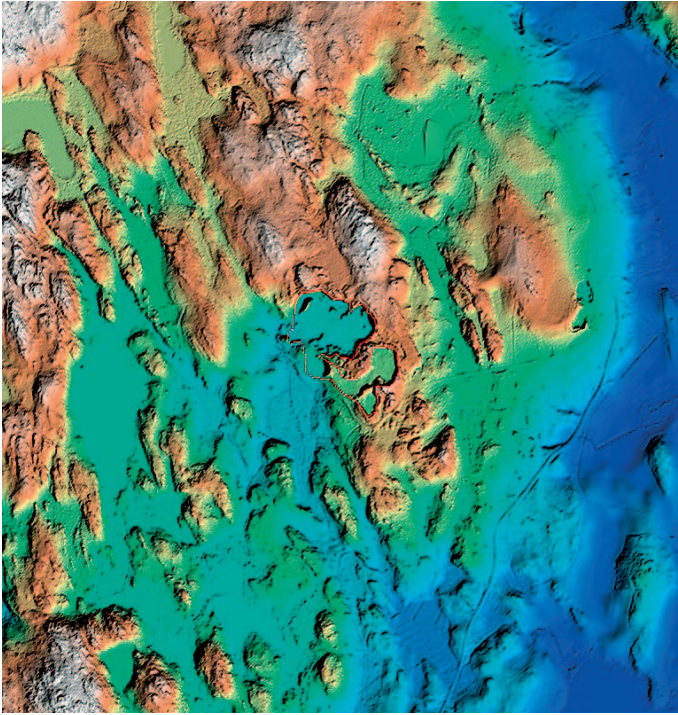
Laserkeilauksella on mainioita sovelluksia maaperän pienipiirteisen geomorfologian vi-

suaalisoinnissa ja tutkimisessa. Kuvassa 2 Merenkurkun maailmanperintöalueelta maaston pienipiirteiset yksityiskohdat tulevat näkyviin aina maaston kivikkoisuutta myöten. Alueelle tyypillisiä De Geer -moreeneja paljastuu aikaisempia stereoilmakuvatarkasteluja enemmän, ja nyt muodostumien luokittelu ja erilaiset geomorfologiset mittaukset sujuvat vauhtomasti (vrt. Breilin et al. 2005, 2009). Laserkeilausaineisto paljastaa itse asiassa läpi Suomen mannerjäätikön asteittaisen sulamisen aiheuttaman reuna-asemakuvioituksen, jota mm. Aartolahti (1972) kuvasi. Laserkeilauksen avulla on pystytty erottamaan lukuisia uusia De Geer -moreeniselän-teitä, mikä tuo lisävalistusta Zilliacuksen (1987) havaitsemaan ilmiöön useiden moreeniselänteiden synty-misestä kalenterivuoden aikana. Lieneekö sitten



Kuva 3. Muhosjoen meandroiva eroosiouoma ja rantamuodostumat Muhoksen Vapunniemellä. MML:n maanpintaluokittelusta laserkeilauspistepilvestä prosessoitu havainnekuva (J.Vanne). Kuva-ala on noin 3,7 x 3,7 km. Korkeusmalli perustuu Maanmittauslaitoksen laser-aineistoon 13/MML/10.

Figure 3. A meandering river channel, river bed erosion and beach ridges uplifted by isostatic rebound. Muhosjoki at Vapunniemi, Muhos, NW Finland. Terrain model processed from airborne laser scanning measured 3D point cloud (J. Vanne). Area of the image is 3.7 x 3.7 km. Height model made from the laser scanning material of National Land Survey of Finland 13/MML/10.



Kuva 4. Kallioperän rakenteita ja Parock Oy:n Salitun louhos Karjalohjan seudulla, Etelä-Suomessa. Maanpintaluokitellusta laserkeilauspistepilvestä prosessoitu havainnekuva (J. Vanne). Kuva-ala on n. 1,5 x 1,1 km. Korkeusmalli perustuu Maanmittauslaitoksen laser-aineistoon 13/MML/10.

Figure 4. Bedrock structures of Parock Oy's Salittu quarry at Karjalohja, Southern Finland. Terrain model processed from airborne laser scanning measured 3D point cloud (J. Vanne). Area of the image is 1.5 x 1.1 km. Elevation model made from the laser scanning material of National Land Survey of Finland 13/MML/10.

vuorovesi-ilmiöön liittyvällä mekaniikalla vaikutusta syvässä vedessä makaavan mannerjään käyttäytymiseen?

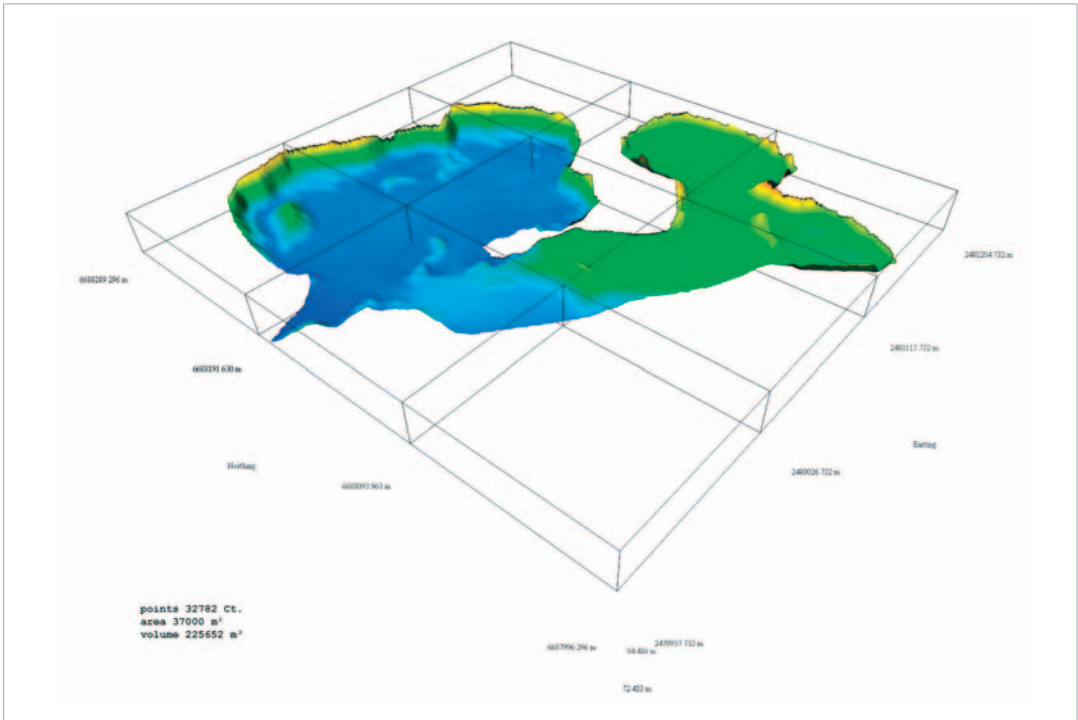
Jokieroosion havainnollistaminen Muhoksella

Laserkeilausaineisto soveltuu erinomaisesti myös rantakerrostumien ja jokieroosion visualisointiin ja tutkimiseen. Kuva 3 esittää Muhosjoen kuluttamaa meanderoivaa uomaa Muhoksen Vapunniemessä ja alueelle tyypillisiä rantavalleja ja niiden suksessioita. Muhosjoki leikkaa kuvassa Rokuanvaaralta Hailuotoon jatkuvaa harjua ja sen liepeillä olevia paksuja sedimenttikerrostumia. Kuvan geomorfologia johtuu yksinomaan maaperämuodoista. Aineisto havainnollistaa hyvin maan kohoamisen myötä syntyneitä muinaisrantoja ja tarjoaa pohjamateriaalia mm. Itämeren rannansiirtymisen ja muinaisten otollisten asuinpaikkojen ja pyyntikenttien tutkimiseen. Kei-

lausaineisto on myös arvokasta aluesuunnittelun maisema-analyyssissä ja maa-ainesten oton suuntaamisessa kohteisiin, joissa ottotoiminta aiheuttaa vähiten haittaa.

Kallioperäsovelluksista ja massojen arvioinnista

Laserkeilausaineiston merkittävä etu on lasersädekimpun tunkeutuminen puuston aiheuttaman peitteen läpi maan pintaan. Kallioisessa maastossa kallioperän rakenteet, heikkousvyöhykkeet ja rakoilusuunnat tulevat hyvin näkyviin (kuva 4). Kun keilausaineisto yhdistetään esim. ilmakuvaan tai satelliittikuvaan, saadaan hyvä työalusta esim. kalliogeotekniiseen suunnitteluun tai heikkousvyöhykkeissä piilevien mineralisaatioiden etsimiseen (vrt. Vanne 2008). Laserkeilausaineiston käyttö kallioperätutkimuksessa maailmalla yleistyy, mutta sen käyttö edellyttää hyvää aineiston käsittelytaitoa (Buckley et al. 2008, Chen ja Campagna 2009). Keilausaineistosta voidaan



Kuva 5. Salitun louhoksen viistokuvahavainne ja laseraineistosta lasketut dimensiot. Louhoksen tilavuus ja mitat on laskettu 32 782 laserkeilauspisteestä ja louhoksen pinta-alaksi on saatu 3,7 ha ja tilavuudeksi 225 652 kuutiometriä, mikä on muutaman prosentin tarkkuudella yhtäpitävä yhtiön maastossa mittaamien dimensioiden kanssa.

Figure 5. Oblique image and dimensions of the Salittu quarry calculated from laser scanning data. Volume and dimensions are calculated from 32 782 laser scanning points giving the quarry area of 3.7 ha and volume of 225 652 cubic meters, which coincide with the field measurements by the company with a few percent accuracy.

helposti laskea myös louhosten ja erilaisten maarakenteiden ja läjitysalueiden dimensioiden. Peitteettömillä alueilla laskentaan soveltuva mittausdata on määrältään ja ladultaan ylivoimaista verrattuna maastossa esim. takymetrillä mitattuun tai digitaalisilta stereoilmakuville ESPA-työasemalla tulkittuun korkeusaineistoon (kuva 5).

Laserkeilausaineistot ovat laajasti tutkijoiden saatavilla oleva moderni työkalu

Uuden sukupolven laserkeilaimet mahdollistavat helikopteria suuremman lentokorkeu-

den, jolloin laajojen alueiden korkeustiedon kerääminen tarkasti on kustannustehokkaampaa. Ilmakuvista kaukokartoituksella tehtäviin korkeustiedon hankintamenetelmiin verrattuna laserkeilaus ei myöskään sisällä kuvatulkinnaista ja yleistämisestä johtuvaa inhimillistä virhelähdettä. Tarkkojen mittauksen toistettavuus ja fysikaalinen perusta on aikaisempia menetelmiä parempi. Verrattuna digitaalisiin stereoilmakuviin laserkeilaus on aktiivinen ja tulkitsijasta riippumaton mittausmenetelmä, joka perustuu lähetettävään säteeseen ja sen vastaanottoon ja tuottaa pieneltäkin alueelta suuren määrän tarkkaa maapinnan korkeus-

ja sijaintitietoa erilaisiin laskenta- ja analyysisovelluksiin. Kun keilaamalla saatuun tarkkaan maanpintamalliin yhdistetään geologisilla ja geoteknisillä kairauksilla kerätty sijaintitarkka tieto, on tuloksena todellinen kolmiulotteinen geologinen maastomalli, jota voi käyttää mm. turveinventoinneissa, maa-ainestutkimuksissa ja taajamageologisessa mallinnuksessa.

Maanmittauslaitoksen paikkatietoaineistot luovutetaan nykyään valtion viranomaisille viranomaiskäyttöön pelkillä aineiston irrotus- ja toimituskuluilla. Viranomaishinnoittelu muuttui vuoden 2009 alusta koskemaan vain valtion viranomaisia. Kunnille aineistot hinnoitellaan normaalin hinnaston mukaisesti. Oppilaitokset saavat 90 %:n alennuksen aineistolisensseistä. Konsultitöissä, yksityisille ja yrityksille aineistot ovat maksullisia MML:n hinnaston mukaisesti (Maanmittauslaitos 2009).

Georakentamisessa visioidaan jo, että tulevaisuudessa miehittämättömät maanrakennus- ja louhintakoneet yleistyvät työmailla. Automatisointia vauhdittaa nopeasti kehittyvä laserskannaustekniikka, jolla saadaan esimerkiksi helikopterista tai skannausasemalta tarkka kolmiulotteinen maastomalli louhinnan ja rakentamisen suunnitteluun ja työkonoiden ohjaukseen. Maarakentamisessa, louhinnassa ja maastomittauksessa on paljon toistuvia työvaiheita, jotka sopivat hyvin automatisoitaviksi.

Uusimpia lupaavia sovelluksia on laserkeilauksen käyttö matalien vesialueiden kartoituksessa ja pohjan morfologian tutkimuksessa. Suotuisissa kirkasvetisissä olosuhteissa batymetrisellä Lidar-laitteistolla voidaan päästä yli 20 metrin syvyysulottuvuuteen (USGS 2009). Mikäli koetyöt meillä onnistuvat, menetelmää voitaisiin käyttää hyväksi mm. vedenalaisen meriluonnon ja merenpohjan määrittämisen kartoituksessa ja tutkimuksessa.

Airborne laser scanning – a new method to geological mapping and research

Laser scanning techniques are rapidly spreading to geological surveying, mapping and research. Geologists are eager to include this new method in their toolbox as it is giving accurate elevation and position information regardless of light conditions, vegetation cover or small climate hinders, when compared to the traditional passive method of aerial stereo photographs based on more or less visible light. Airborne laser scanning is an active method where a spray of laser beams are sent to the terrain to illuminate the Earth's surface and photodiodes to register the backscatter radiation with a remarkable accuracy. Laser beams find their way to the surface even through a considerably tight canopy of vegetation.

The National Land Survey of Finland has started the production of the new nationwide digital elevation model in 2008. The new digital elevation model is a two by two meter grid-model with the elevation accuracy of 0.30 meters. In the five figures above examples of the recently airborne laser scanned areas and a few applications to geological survey are shown. The material is recently made easily available to government's research institutes and universities. Companies and municipal authorities can get the material for a fair production price.

The new accurate digital elevation data provide new applications as well as improve applications already in use. The new model and laser scanning data achieve savings and can accelerate several processes by a variety of users. In the future, laser scanning can be in use when excavating and quarrying geological raw materials with robotic technology. On-line

rapid measuring and detection can also be done using this method.

KEIJO NENONEN

Geologian tutkimuskeskus (GTK)
PL 96, 02151 ESPOO
keijo.nenonen@gtk.fi

JOUKO VANNE

Geologian tutkimuskeskus (GTK)
PL 1237, 70211 KUOPIO
jouko.vanne@gtk.fi

HELI LAAKSONEN

Maanmittauslaitos,
Ilmakuvaokeskus
PL 84, 00520 HELSINKI
heli.laaksonen@maanmittauslaitos.fi

Kirjallisuus

- Aartolahti, T. 1972. On deglaciation in southern and western Finland. *Fennia* 114:1–84.
- Buckley, S.J., Howell, J.A., Enge, H.D. ja Kurz, T.H. 2008. Terrestrial laser scanning in geology: data acquisition, processing and accuracy considerations. *Journal of the Geological Society* 165:625–638.
- Breilin, O., Kotilainen, A., Nenonen, K. ja Räsänen, M. 2005. The unique moraine morphology, stratotypes and ongoing geological processes at the Kvarcken Archipelago on the land uplift area in the western coast of Finland. Teoksessa: Quaternary studies in the northern and Arctic regions of Finland: proceedings of the workshop organized within the Finnish National Committee for Quaternary Research (INQUA), Kilpisjärvi Biological Station, Finland, January 13–14th 2005. Geological Survey of Finland. Special Paper 40:97–111.
- Breilin, O., Edén, P., Kielosto, S., Ojalainen, J., Putkinen, N., Kallio, H. ja Vähäkuopus, T. 2009. Paniken, Svedjehamnin ja Lappörarnan maaperäkerrostumat = Jordartsavlagringar i Panike, Svedjehamn och på Lappörarna = The surficial deposits in Panike, Svedjehamn and on the Lappörarna Islands 1:20 000 [Electronic resource]. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
- Chen, X. ja Campagna, D.J. 2009. Remote Sensing of Geology. Teoksessa: Warner, T.A., Nellis, M.D. ja Foody G.M. (toim.). The SAGE Handbook of remote sensing, SAGE Publications, pp 328–339. SAGE Publications India Pvt. Ltd. New Delhi.
- Hyypä, J. 2003. Laserkeilaus. http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswwww/laser.html
- Hyypä, J., Wagner, W., Hollaus, M. ja Hyypä, H. 2009. Airborne Laser Scanning. Teoksessa: Warner, T.A., Nellis, M.D. ja Foody G.M. (toim.). The SAGE Handbook of remote sensing. SAGE Publications, pp 199–211. SAGE Publications India Pvt. Ltd. New Delhi.
- Jensen, J.R. 2007. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2nd edition. 592 s. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Maanmittauslaitos 2008. Uusi valtakunnallinen korkeusmalli laserkeilaamalla. <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=1235>
- Maanmittauslaitos 2009. Hinnastot 2009. <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=956>
- Maltamo, M. ja Pitkänen, J. 2003. Laserkeilauksen metsätaloudelliset sovellusmahdollisuudet, Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu, 40. http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paivat_2003.htm
- MMM 2009. Kevätlaser metsävarojen inventoinnissa. MMM:n konserniohjelmahankkeen loppuraportti (proj. n:o 311100), <http://www.metsavastaa.net/tutkimustietoa>
- USGS 2009. Experimental Advanced Airborne Research Lidar (EAARL). <http://ngom.usgs.gov/dsp/tech/eaarl/>
- Vanne, J. 2008. Laserkeilausaineistojen sovelluksista. Laserkeilaus ja uusi valtakunnallinen korkeusmalli -seminaari 10.10.2008, Helsinki. http://www.maanmittauslaitos.fi/Tietoa_maasta/Ilmakuvaus/korkeusmalli_seminaarin_esitykset 19.1.2009.
- Zilliacus, H. 1987. De Geer moraines in Finland and the annual moraine problem. *Fennia* 165: 147–239.